昆 虫 学 报 *Acta Entomologica Sinica*, February 2018, 61(2): 209 –217 doi:10.16380/j.kcxb.2018.02.007

海南烟粉虱田间种群隐种鉴定及对溴氰虫酰胺和氟吡呋喃酮的敏感性检测

郭 磊[1], 黄新意[1], 梁延坡[2], 刘想想[1], 褚 栋[1,*]

(1. 青岛农业大学植物医学学院, 山东省植物病虫害综合防控重点实验室, 山东青岛 266109;
2. 海南省农业科学院植物保护研究所, 海南省植物病虫害防控重点实验室, 海口 571100)

摘要:【目的】明确海南烟粉虱 *Bemisia tabaci* 田间种群对 2 种新型杀虫剂溴氰虫酰胺和氟吡呋喃酮的敏感水平,为杀虫剂的合理施用与烟粉虱的田间抗性监测提供参考。【方法】以 2017 年 1 月采自海南省 6 个地点烟粉虱田间种群为材料,利用线粒体细胞色素氧化酶 I 基因(*mtCOI*)测序及 *mtCOI* PCR-RFLP 分子标记对采集种群隐种进行鉴定;采用浸叶法测定溴氰虫酰胺和氟吡呋喃酮 2 种药剂对各地区田间种群的致死中浓度(LC_{50})。【结果】在海南省 6 个烟粉虱田间种群中,三亚市吉阳区种群为 MEAM1 隐种,澄迈县永发镇种群和乐东黎族自治县冲坡镇种群以 MED 隐种为主的 MEAM1(<10%)与 MED 隐种(分别为 94.6% 和 92.9%)混合种群,其他 3 个田间种群均为 MED 隐种。与溴氰虫酰胺敏感种群相比,除乐东黎族自治县十所种群已处于低水平抗性(RR: 5 ~ 10 倍),其他 5 个种群均处于敏感水平(RR < 5 倍);所有 6 个田间种群对氟吡呋喃酮均处于敏感水平(RR < 3 倍)。【结论】溴氰虫酰胺和氟吡呋喃酮可作为烟粉虱防控的新药剂,并可作为其抗性治理的替代药剂,但同时应密切关注烟粉虱对溴氰虫酰胺抗性水平变化情况。

关键词: 烟粉虱; 隐种; 线粒体细胞色素氧化酶 I 基因; 溴氰虫酰胺; 氟吡呋喃酮; 敏感性; 海南
中图分类号: Q965.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 0454-6296(2018)02-0209-09

Identification of cryptic species and detection of the susceptibility to cyantraniliprole and flupyradifurone of field populations of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) in Hainan, southern China

GUO Lei[1], HUANG Xin-Yi[1], LIANG Yan-Po[2], LIU Xiang-Xiang[1], CHU Dong[1,*] (1. Key Laboratory of Integrated Crop Pest Management of Shandong Province, College of Plant Health and Medicine, Qingdao Agricultural University, Qingdao, Shandong 266109, China; 2. Hainan Key Laboratory for Control of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Hainan Academy of Agricultural Sciences, Haikou 571100, China)

Abstract:【Aim】Determining the susceptibility of field populations of the whitefly, *Bemisia tabaci* in Hainan, China to two novel insecticides, cyantraniliprole and flupyradifurone, can help to provide the reference for the rational application of the insecticides and resistance monitoring of its field populations.【Methods】The cryptic species identity of field populations of *B. tabaci* collected from six localities in Hainan Province, southern China in January, 2017 was identified by sequencing of mitochondrial cytochrome oxidase I gene (*mtCOI*) and PCR-RFLP analysis of *mtCOI*. The LC_{50} values of

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFC1201200); 国家自然科学基金项目(31601659); 青岛市应用基础研究计划项目(15-9-1-57-jch); 海南省自然科学基金项目(317195)
作者简介: 郭磊, 男, 1985 年 7 月生, 山西太原人, 博士, 讲师, 研究方向为农业昆虫与害虫防治, E-mail: guoleicau@qq.com
* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: chinachudong@sina.com.cn
收稿日期 Received: 2017-08-26; 接受日期 Accepted: 2017-11-06

cyantraniliprole and flupyradifurone against these populations were measured using leaf-dip method. 【Results】Among the six populations, the population from Jiyang, Sanya city was identified as the cryptic species MEAM1, those from Yongfa, Chengmai county and Chongpo, Ledong county were identified as the mixed populations of the cryptic species MEAM1 (< 10%) and MED (94.6% and 92.9%, respectively), and the other three were identified as the cryptic species MED. By comparison with the LC_{50} value of cyantraniliprole against the susceptible population, the population from Shisuo, Ledong county, had developed low-level resistance to cytraniliprole (RR: 5 - 10), while the other five were susceptible (RR < 5). And by comparison with the LC_{50} values of flupyradifurone, all the six field populations were susceptible (RR <3).【Conclusion】Cyantraniliprole and flupyradifurone can be used as candidate insecticides in the control and resistance management of *B. tabaci*, and more attention should be paid to the resistance development of *B. tabaci* to cyantraniliprole in the field.

Key words: *Bemisia tabaci*; cryptic species; mitochondrial cytochrome oxidase I gene; cyantraniliprole; flupyradifurone; susceptibility; Hainan

烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius) 是一种世界性的害虫,它能够通过直接取食和传播植物病毒的方式对农业、园艺以及观赏性的植物造成严重的危害(Brown *et al*., 1995; Navas-Castillo *et al*., 2011)。目前,烟粉虱至少有 36 个不同的隐种,其中 MEAM1 隐种(也称为 B 型烟粉虱)和 MED 隐种(也称为 Q 型烟粉虱)是在田间主要危害的 2 个隐种(De Barro *et al*., 2011; Alemandri *et al*., 2015)。MEAM1 烟粉虱在 20 世纪 90 年代中后期传入我国,危害严重,造成严重的经济损失(罗晨等, 2002)。MED 烟粉虱在 2003 年左右传入我国(Chu *et al*., 2006)。随后数年,我国多数地区的 MEAM1 烟粉虱被 MED 烟粉虱所取代,MED 烟粉虱成为了我国烟粉虱的优势种群(Li *et al*., 2017),田间抗性监测结果显示 MED 烟粉虱对杀虫剂的抗性水平普遍高于 MEAM1 烟粉虱(Luo *et al*., 2010; Wang *et al*., 2010),可能是导致 MED 烟粉虱成功取代 MEAM1 烟粉虱的重要原因之一。在我国,新烟碱类杀虫剂、拟除虫菊酯类等杀虫剂广泛用于烟粉虱的防控,但烟粉虱种群对吡虫啉、噻虫嗪、啶虫脒以及氯氰菊酯等传统药剂均产生了高水平的抗性(Luo *et al*., 2010; Wang *et al*., 2010)。因此,新型杀虫剂的研发和应用对于该害虫的防控以及抗药性治理具有重要意义。

近年来,2 种用于防治烟粉虱的新型杀虫剂,溴氰虫酰胺和氟吡呋喃酮陆续在我国登记上市。其中,溴氰虫酰胺是杜邦公司研制开发的第二代双酰胺类杀虫剂,具有更广的杀虫谱,能够有效防治咀嚼式口器和刺吸式口器的害虫(王海娜等, 2014; 程永等, 2014; Barry *et al*., 2015)。由于同其他作用机制的杀虫剂没有交互抗性,溴氰虫酰胺已经被广泛用于对刺吸式口器害虫的防治过程(Cordova *et al*., 2006)。然而,国内对烟粉虱田间种群抗药性监测显示烟粉虱种群已产生一定水平的抗性(Yao *et al*., 2017; Wang *et al*., 2017),烟粉虱对该药剂的抗性风险有逐年增加的趋势。

氟吡呋喃酮是拜耳公司研制开发的第一个具有代表性的新型丁烯酸内酯类杀虫剂,能够有效防治各种刺吸式口器的害虫,并展现出优良的生物安全性(Jeschke *et al*., 2015; Campbell *et al*., 2016)。作为害虫烟碱型乙酰胆碱受体的激活剂,由于其具有一个丁烯酸内酯的活性药效基团,从而表现特有的生物活性(Nauen *et al*., 2015)。最近,陈敏等(2017)对山东烟台番茄烟粉虱种群开展了田间药效试验,但有关国内烟粉虱种群对该药的敏感水平检测尚未有系统的研究。

海南省是我国重要的作物冬季繁育中心和"冬季菜篮子"供给地,在保障冬季瓜菜的充分供给中起着关键的作用。同时,作为烟粉虱发生世代数最多的省份之一,海南省各地常年均受到烟粉虱的危害(陈春丽等, 2011)。因此,了解该地区烟粉虱对新型杀虫剂氟吡呋喃酮和溴氰虫酰胺的敏感水平,能够为 2 种新型杀虫剂的合理施用与烟粉虱抗性监测提供参考。本研究以 2017 年 1 月采集的海南省 6 个地点的田间烟粉虱种群为材料,在利用 *mtCOI* 测序与 PCR-RFLP 分子标记对烟粉虱隐种鉴定的基础上,采用浸叶法比较了溴氰虫酰胺和氟吡呋喃酮 2 种药剂对各地区田间种群的杀虫活性。结果提示,溴氰虫酰胺和氟吡呋喃酮可作为烟粉虱防控的有效药剂,但同时应密切关注当地烟粉虱对溴氰虫酰胺抗性水平的发展。

1　材料与方法

1.1　供试烟粉虱

烟粉虱敏感种群：于 2012 年采自山东省济南市棉花田，根据线粒体细胞色素氧化酶 I 基因(*mtCOI*)测序的方法，确定为 MED 烟粉虱，并在实验室以棉花(鲁棉 21)进行继代饲养至今，饲养期间未接触任何杀虫剂。人工气候室的饲养环境：条件控制温度 27 ± 1℃，光周期 16L∶8D，相对湿度 60% ±5%。

田间烟粉虱种群：2017 年 1 月采集于海南省 6 个地点，分别为澄迈县永发镇、陵水黎族自治县英州镇、乐东黎族自治县冲坡镇、乐东黎族自治县九所、乐东黎族自治县十所和三亚市吉阳区(表 2)，本试验中的 6 个采集点从北向南分布于整个海南岛，并且采集地点常年使用化学杀虫剂防治烟粉虱，因此具有一定的代表性。田间种群于室内饲养 1 代后用于生测。

1.2　烟粉虱隐种鉴定

从每个田间种群的样品中随机选取 15 ~20 头烟粉虱成虫，单头提取 DNA，根据 Chu 等(2010)的方法，扩增 *mtCOI* 基因，并参照 Dinsdale 等(2010)使用不同隐种共有序列(consensus sequence)的比对方法，确定其隐种。在序列分析结果的基础上，进一步利用 Khasdan 等(2005)的 *mtCOI* PCR-RFLP 方法验证上述测序结果并扩大每个种群的检测数量，使得每个种群隐种鉴定的总数量达 30 头以上。

1.3　供试杀虫剂与生物测定方法

供试药剂为 95% 溴氰虫酰胺原药(美国杜邦公司)和 96% 氟吡呋喃酮原药(德国拜耳公司)。参照田玉安等(2012)的琼脂保湿浸叶法进行生物测定。将原药用二甲基亚砜配置成 2 000 mg/L 的高浓度母液，用含有 0.05% Triton X-100 的去离子水将母液稀释成 5 ~7 个浓度。将 100 mL 插口圆底离心管切除圆形底端制成生测管，将生测管一侧的离心管盖内铺 1% 的琼脂 1.5 mL，将预先用打孔器打好的棉花叶片在不同浓度的药液或含有 0.05% Triton X-100 去离子水中(对照)浸泡 10 s，晾干后背面朝上轻放于琼脂上。每管接入 20 ~30 头 2 日龄的烟粉虱成虫后，用纱网封口，将生测管开口端向下放置在人工气候室内静置 1 h，检查并去除从直管内脱落下的受伤和死亡个体。48 h 后检查各处理的死亡数和存活数。每个浓度及对照各 3 个重复。

1.4　数据处理

生测结果分析采用 PoloPlus 软件(LeOra Software，Petaluma，CA)进行，计算各种群对不同杀虫剂的 LC_{50} 值及其 95% 的置信区间、斜率及标准误。抗性倍数 = 所测种群的 LC_{50}/敏感种群的 LC_{50}。抗性水平的划分采用张帅等(2010)的标准，即抗性比低于 3 倍为敏感状态，3 ~5 倍为敏感性下降状态，5 ~10 倍为低水平抗性，10 ~40 倍为中水平抗性，40 ~160 倍为高水平抗性，大于 160 倍为极高水平抗性。

2　结果

2.1　烟粉虱种群隐种组成鉴定

通过对 6 个田间种群的 *mtCOI* 序列比对发现，其中共存在 4 个单倍型，分别命名为 HN1(GenBank 登录号：MG214607)，HN2(GenBank 登录号：MG214608)，HN3(GenBank 登录号：MG214609)和 HN4(GenBank 登录号：MG214610)。利用 4 个单倍型序列与不同隐种共有序列构建的系统发育树结果显示，HN2 和 HN3 单倍型与 MED 隐种聚为一支，HN1 和 HN4 单倍型与 MEAM1 隐种聚为一支(图 1)。通过进化分歧矩阵的进一步分析发现，HN2 和 HN3 单倍型与 MED 隐种之间的遗传距离为 0，HN1 和 HN4 单倍型与 MED 隐种之间的遗传距离为 0(表 1)。因此，上述结果表明 HN1 和 HN4 单倍型为 MEAM1 隐种，HN2 和 HN3 隐种属于 MED 隐种。进一步利用 *mtCOI* PCR-RFLP 方法对上述个体鉴别并扩大检测数量，结果表明 PCR-RFLP 方法与 *mtCOI* 序列的鉴定结果一致。汇总所有用 PCR-RFLP 方法检测的个体发现，海南省大部分地区烟粉虱种群为 MED：除三亚市吉阳区(SY)为 MEAM1 隐种外，澄迈县永发镇种群(CM)和乐东黎族自治县冲坡镇种群(LDCP)是以 MED 为主的 MEAM1 与 MED 隐种混合种群(其中 MED 隐种分别占种群的 94.6% 和 92.9%)，其他 3 个种群为 MED 隐种(表 2)。

2.2　海南省各地烟粉虱种群对溴氰虫酰胺的敏感性

从表 3 的结果中可以看出，与敏感种群(Lab-SS)相比，海南各地烟粉虱田间种群对溴氰虫酰胺普遍表现出敏感水平。其中，澄迈县永发镇种群(CM)，乐东黎族自治县冲坡镇种群(LDCP)和三亚市吉阳区种群 (SY)处于敏感水平(RR < 3 倍)；陵水黎族自治县英州镇种群(LS)和乐东黎族自治县九所种群(LDJS)处于敏感度降低水平(RR：3 ~5

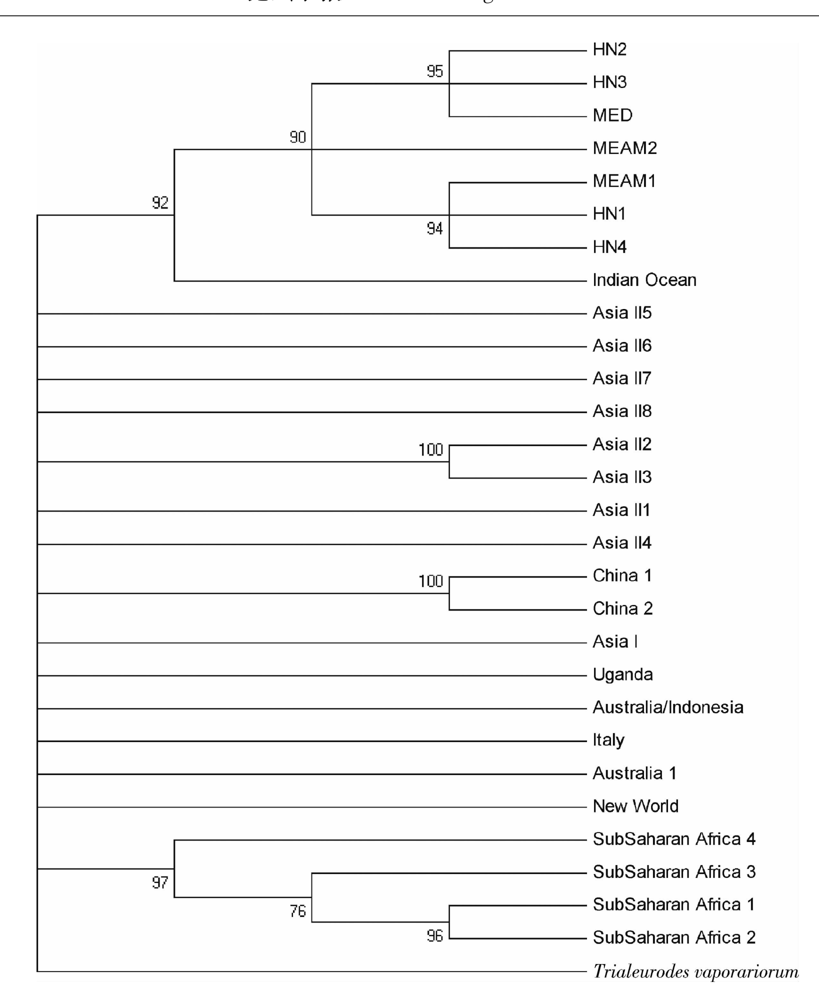


图 1 利用邻接法基于 *mtCOI* 基因构建的烟粉虱隐种系统发育树

Fig. 1 Molecular phylogenetic tree of *Bemisia tabaci* constructed based on *mtCOI* sequence using neighbor-joining method

HN1：海南单倍型 1（Hainan haplotype 1）；HN2：海南单倍型 2（Hainan haplotype 2）；HN3：海南单倍型 3（Hainan haplotype 3）；HN4：海南单倍型 4（Hainan haplotype 4）；Asia Ⅰ：隐种 Asia Ⅰ（Cryptic species Asia Ⅰ）；Asia Ⅱ 1：隐种 Asia Ⅱ 1（Cryptic species Asia Ⅱ 1）；Asia Ⅱ 2：隐种 Asia Ⅱ 2（Cryptic species Asia Ⅱ 2）；Asia Ⅱ 3：隐种 Asia Ⅱ 3（Cryptic species Asia Ⅱ 3）；Asia Ⅱ 4：隐种 Asia Ⅱ 4（Cryptic species Asia Ⅱ 4）；Asia Ⅱ 5：隐种 Asia Ⅱ 5（Cryptic species Asia Ⅱ 5）；Asia Ⅱ 6：隐种 Asia Ⅱ 6（Cryptic species Asia Ⅱ 6）；Asia Ⅱ 7：隐种 Asia Ⅱ 7（Cryptic species Asia Ⅱ 7）；Asia Ⅱ 8：隐种 Asia Ⅱ 8（Cryptic species Asia Ⅱ 8）；Mediterranean：隐种 Mediterranean（Cryptic species Mediterranean）（MED）；Middle East-Asia Minor 1：隐种 Middle East-Asia Minor 1（Cryptic species Middle East-Asia Minor 1）（MEAM1）；Middle East-Asia Minor 2：隐种 Middle East-Asia Minor 2（Cryptic species Middle East-Asia Minor 2）（MEAM 2）；Indian Ocean：隐种 Indian Ocean（Cryptic species Indian Ocean）；China 1：隐种 China 1（Cryptic species China 1）；China 2：隐种 China 2（Cryptic species China 2）；Uganda：隐种 Uganda（Cryptic species Uganda）；Australia/Indonesia：隐种 Australia/Indonesia（Cryptic species Australia/Indonesia）；Italy：隐种 Italy（Cryptic species Italy）；Australia 1：隐种 Australia 1（Cryptic species Australia 1）；New World：隐种 New World（Cryptic species New World）；SubSaharan Africa 1：隐种 SubSaharan Africa 1（Cryptic species SubSaharan Africa 1）；SubSaharan Africa 2：隐种 SubSaharan Africa 2（Cryptic species SubSaharan Africa 2）；SubSaharan Africa 3：隐种 SubSaharan Africa 3（Cryptic species SubSaharan Africa 3）；SubSaharan Africa 4：隐种 SubSaharan Africa 4（Cryptic species SubSaharan Africa 4）；*Trialeurodes vaporariorum*：温室白粉虱. 表 1 同 The same for Table 1.

倍）；而乐东黎族自治县十所种群（LDSS）已处于低水平抗性（RR：5～10 倍）。

2.3 海南省各地烟粉虱种群对氟吡呋喃酮的敏感性

从表 4 的结果中可以看出，与敏感种群（Lab-SS）相比，海南各地烟粉虱田间种群对氟吡呋喃酮均处于敏感水平（RR < 3 倍）。但陵水黎族自治县英州镇种群（LS），乐东黎族自治县冲坡镇种群（LDCP）和三亚市吉阳区种群（SY）的 LC_{50} 值略高于其他地区种群。

3 讨论

前期调查研究发现，我国多数地区是以 MED 烟粉虱为主，少数地区存在 MEAM1 烟粉虱种群或土著烟粉虱隐种（Li *et al*., 2017）。其中，采用 *mtCOI*

表 1　烟粉虱单倍型与本地种基于 *mtCOI* 基因序列的进化分歧(Kimura 2-parameter 模型)

Table 1　Evolutionary/divergence of haplotypes and indigenous species of *Bemisia tabaci* based on *mtCOI* sequcence (Kimura 2-parameter model)

	HN1	HN2	HN3	HN4	MED	MEAM1	MEAM2	Asia Ⅰ	Asia Ⅱ 1	Asia Ⅱ 2	Asia Ⅱ 3	Asia Ⅱ 4	Asia Ⅱ 5	Asia Ⅱ 6	Asia Ⅱ 7	Asia Ⅱ 8	China 1	China 2	Africa 1	Africa 2	Africa 3	Africa 4	Australia 1	AU/ ID	Indian Ocean	Italy	New World	Uganda	TV
HN1																													
HN2	0.014																												
HN3	0.014	0.000																											
HN4	0.000	0.014	0.014																										
MED	0.014	0.000	0.000	0.014																									
MEAM1	0.000	0.014	0.014	0.000	0.014																								
MEAM2	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014																							
Asia Ⅰ	0.078	0.074	0.074	0.078	0.074	0.078	0.078																						
Asia Ⅱ 1	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.078	0.074	0.098																					
Asia Ⅱ 2	0.098	0.102	0.102	0.098	0.102	0.098	0.098	0.115	0.090																				
Asia Ⅱ 3	0.098	0.102	0.102	0.098	0.102	0.098	0.098	0.119	0.086	0.018																			
Asia Ⅱ 4	0.014	0.000	0.000	0.014	0.000	0.014	0.014	0.074	0.078	0.102	0.102																		
Asia Ⅱ 5	0.081	0.077	0.077	0.081	0.077	0.081	0.077	0.082	0.028	0.081	0.077	0.077																	
Asia Ⅱ 6	0.000	0.014	0.014	0.000	0.014	0.000	0.014	0.078	0.078	0.098	0.098	0.014	0.081																
Asia Ⅱ 7	0.078	0.074	0.074	0.078	0.074	0.078	0.078	0.078	0.051	0.102	0.102	0.074	0.040	0.078															
Asia Ⅱ 8	0.098	0.094	0.094	0.098	0.094	0.098	0.090	0.074	0.081	0.082	0.094	0.094	0.062	0.098	0.074														
China 1	0.077	0.089	0.089	0.077	0.089	0.077	0.093	0.059	0.097	0.119	0.123	0.089	0.082	0.077	0.082	0.107													
China 2	0.082	0.094	0.094	0.082	0.094	0.082	0.098	0.066	0.098	0.120	0.123	0.094	0.090	0.082	0.090	0.115	0.014												
Africa 1	0.089	0.093	0.093	0.089	0.093	0.089	0.097	0.085	0.113	0.106	0.114	0.093	0.105	0.089	0.113	0.114	0.101	0.097											
Africa 2	0.085	0.089	0.089	0.085	0.089	0.085	0.093	0.081	0.109	0.102	0.110	0.089	0.101	0.085	0.109	0.110	0.097	0.093	0.003										
Africa 3	0.085	0.089	0.089	0.085	0.089	0.085	0.085	0.077	0.105	0.098	0.106	0.089	0.101	0.085	0.114	0.105	0.101	0.097	0.018	0.014									
Africa 4	0.089	0.093	0.093	0.089	0.093	0.089	0.093	0.081	0.113	0.101	0.109	0.093	0.093	0.089	0.109	0.114	0.097	0.101	0.028	0.025	0.036								
Australia 1	0.014	0.000	0.000	0.014	0.000	0.014	0.014	0.074	0.078	0.102	0.102	0.000	0.077	0.014	0.074	0.094	0.089	0.094	0.093	0.089	0.089	0.093							
AU/ ID	0.081	0.077	0.077	0.081	0.077	0.081	0.081	0.070	0.101	0.106	0.118	0.077	0.090	0.081	0.098	0.111	0.074	0.082	0.069	0.065	0.069	0.065	0.077						
Indian Ocean	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.036	0.085	0.073	0.106	0.106	0.044	0.077	0.044	0.078	0.110	0.085	0.089	0.105	0.101	0.101	0.101	0.044	0.089					
Italy	0.082	0.086	0.086	0.082	0.086	0.082	0.082	0.071	0.086	0.091	0.102	0.086	0.078	0.082	0.082	0.087	0.070	0.078	0.069	0.066	0.062	0.070	0.086	0.051	0.082				
New World	0.074	0.078	0.078	0.074	0.078	0.074	0.082	0.078	0.101	0.110	0.114	0.078	0.089	0.074	0.101	0.094	0.101	0.097	0.066	0.062	0.070	0.062	0.078	0.081	0.102	0.086			
Uganda	0.000	0.014	0.014	0.000	0.014	0.000	0.014	0.078	0.078	0.098	0.098	0.014	0.081	0.000	0.078	0.098	0.077	0.082	0.089	0.085	0.085	0.089	0.014	0.081	0.044	0.082	0.074		
TV	0.000	0.014	0.014	0.000	0.014	0.000	0.014	0.078	0.078	0.098	0.098	0.014	0.081	0.000	0.078	0.098	0.077	0.082	0.089	0.085	0.085	0.089	0.014	0.081	0.044	0.082	0.074	0.000	

表 2 海南省不同地区烟粉虱种群的隐种组成

Table 2 Cryptic species composition of *Bemisia tabaci* populations from Hainan Province, China

种群 Populations	采集地点 Collecting locality	地理位置 Geographic location	寄主植物 Host plants	基于 *mtCOI* 序列与 PCR-RFLP Based on *mtCOI* sequence and PCR-RFLP			仅基于 PCR-RFLP Only based on PCR-RFLP			检测个体总数 Total number of individuals detected	MEAM1 比例(%) Proportion of MEAM1	MED 比例(%) Proportion of MED
				检测个体数 Number of individuals detected	MEAM1 个体数 Number of individuals of MEAM1	MED 个体数 Number of individuals of MED	检测个体数 Number of individuals detected	MEAM1 个体数 Number of individuals of MEAM1	MED 个体数 Number of individuals of MED			
CM	澄迈县永发镇 Yongfa, Chengmai county	19°45′N, 110°11′E	茄子 Eggplant	16	2	14	21	0	21	37	5.4	94.6
LS	陵水黎族自治县英州镇 Yingzhou, Lingshui county	18°44′N, 109°84′E	番茄 Tomato	17	0	17	15	0	15	32	0	100
LDCP	乐东黎族自治县冲坡镇 Chongpo, Ledong county	18°31′N, 108°52′E	茄子 Eggplant	18	1	17	24	2	22	42	7.1	92.9
LDJS	乐东黎族自治县九所 Jiusuo, Ledong county	18°48′N, 108°98′E	冬瓜 White gourd	15	0	15	19	0	19	34	0	100
LDSS	乐东黎族自治县十所 Shisuo, Ledong county	19°05′N, 108°66′E	甜瓜 Sweet melon	15	0	15	16	0	16	31	0	100
SY	三亚市吉阳区 Jiyang, Sanya city	18°29′N, 109°51′E	黄瓜 Cucumber	16	16	0	17	17	0	33	100	0

MEAM1 和 MED 是烟粉虱隐种。MEAM1 and MED are *B. tabaci* cryptic species.

表 3　不同种群烟粉虱成虫对溴氰虫酰胺的敏感性

Table 3　Susceptibility of different populations of *Bemisia tabaci* adults to cyantraniliprole

种群 Populations	斜率 ± *SE* Slope ± *SE*	χ^2 (*df*)	LC_{50} (mg/L)	95% CL (mg/L)	抗性倍数 Resistance ratio
Lab-SS	1.79 ± 0.16	9.17 (3)	1.49	0.64 – 2.72	1.00
CM	1.17 ± 0.17	5.81 (3)	2.05	0.75 – 7.80	1.38
LS	1.08 ± 0.17	9.00 (4)	6.96	1.92 – 32.62	4.67
LDCP	1.49 ± 0.24	5.72 (3)	2.75	0.30 – 7.21	1.85
LDJS	1.86 ± 0.32	2.32 (4)	5.03	2.84 – 7.33	3.38
LDSS	3.04 ± 0.45	7.78 (4)	9.53	4.88 – 15.17	6.40
SY	1.35 ± 0.22	9.17 (4)	3.25	0.44 – 7.42	2.18

抗性倍数 = 田间种群的 LC_{50}/敏感种群的 LC_{50} (Resistance ratio = LC_{50} value of field population/LC_{50} value of susceptible population). CL：置信限 Confidence limit；Lab-SS：实验室敏感种群 Laboratory susceptible population；CM：澄迈县永发镇种群 Population from Yongfa, Chengmai county；LS：陵水黎族自治县英州镇种群 Population from Yingzhou, Lingshui county；LDCP：乐东黎族自治县冲坡镇种群 Population from Chongpo, Ledong county；LDJS：乐东黎族自治县九所种群 Population from Jiusuo, Ledong county；LDSS：乐东黎族自治县十所种群 Population from Shisuo, Ledong county；SY：三亚市吉阳区种群 Population from Jiyang, Sanya city. 表 4 同 The same for Table 4.

表 4　不同种群烟粉虱成虫对氟吡呋喃酮的敏感性

Table 4　Susceptibility of different populations of *Bemisia tabaci* adults to flupyradifurone

种群 Populations	斜率 ± *SE* Slope ± *SE*	χ^2 (*df*)	LC_{50} (mg/L)	95% CL (mg/L)	抗性倍数 Resistance ratio
Lab-SS	2.39 ± 0.20	1.02 (4)	14.66	12.51 – 17.38	1.00
CM	1.57 ± 0.26	7.33 (4)	8.46	1.06 – 18.86	0.58
LS	1.60 ± 0.33	1.71 (4)	41.91	25.63 – 68.93	2.86
LDCP	3.00 ± 0.58	0.91 (3)	37.79	26.31 – 47.98	2.58
LDJS	0.86 ± 0.24	0.86 (3)	16.62	3.61 – 39.86	1.13
LDSS	2.09 ± 0.48	1.16 (3)	14.75	7.10 – 23.46	1.01
SY	1.55 ± 0.28	6.47 (4)	29.87	12.24 – 75.33	2.04

分子标记法对 2011 – 2012 年在海南省发现烟粉虱主要是 MED 隐种，其次为 MEAM1 隐种，同时也有 Asia II 和 Asia I 隐种的存在(李洪冉等，2016)。本研究中发现，海南岛烟粉虱除三亚市吉阳区为 MEAM1 隐种外，澄迈县永发镇种群和乐东黎族自治县冲坡镇种群是以 MED 隐种为主的 MEAM1 与 MED 隐种混合种群，其他 3 个种群均为 MED 隐种。本研究结果表明，海南省烟粉虱主要是 MED 隐种，而土著烟粉虱隐种与入侵的 MEAM1 隐种烟粉虱呈现被 MED 隐种烟粉虱取代的趋势。

作为防治烟粉虱的主要手段，化学杀虫剂起着不可代替的作用。研究发现氟吡呋喃酮作为新一代的新烟碱类杀虫剂对烟粉虱具有良好的田间防效(陈敏等，2017)，本研究也发现海南各地田间种群对氟吡呋喃酮均处于敏感水平，因此该药剂可以作为防治番茄烟粉虱的理想药剂。对溴氰虫酰胺的田间监测结果表明，除个别地区以外，各地种群也普遍处于敏感水平。其中，有 3 个地区对溴氰虫酰胺处于敏感水平，2 个地区已经出现了敏感度降低的现象，而乐东黎族自治县十所种群已经出现了低水平抗性的情况。我们推测各地烟粉虱田间种群对溴氰虫酰胺表现出敏感度下降的情况可能与害虫对第一代双酰胺类杀虫剂交互抗性有关，自第一代双酰胺类杀虫剂氯虫苯甲酰胺上市以来，就在包括海南省在内的南方各地广泛用于鳞翅目害虫的防治(张武军等，2009；陈焕瑜等，2010)，大大增加了烟粉虱接触双酰胺类杀虫剂的几率，因此长期高剂量的接触可能使其对溴氰虫酰胺表现出敏感度降低的情况。

综上所述，溴氰虫酰胺和氟吡呋喃酮可作为烟粉虱防控的有效药剂，但应密切关注烟粉虱对溴氰虫酰胺抗性动态。虽然目前没有报道与氟吡呋喃酮

存在交互抗性的药剂,但作为抗性治理药剂的重要备选药剂,在田间使用过程中一定需要注意其使用频率及用量等问题。尤其在海南地区,烟粉虱全年均有发生,因此今后仍需要进行长期持续的敏感性监测,并及时公布当地烟粉虱的抗性发展水平,为科学使用杀虫剂、降低农药投入量提供参考依据。

参考文献(References)

Alemandri V, Vaghi Medina CG, Dumon AD, Arguello Caro EB, Mattio MF, Garcia Medina S, Lopez Lambertini PM, Truol G, 2015. Three members of the *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) cryptic species complex occur sympatrically in Argentine horticultural crops. *J. Econ. Entomol.*, 108(2): 405-413.

Barry JD, Portillo HE, Annan IB, Cameron RA, Clagg DG, Dietrich RF, Watson LJ, Leighty RM, Ryan DL, McMillan JA, Swain RS, Kaczmarczyk RA, 2015. Movement of cyantraniliprole in plants after foliar applications and its impact on the control of sucking and chewing insects. *Pest Manag. Sci.*, 71(3): 395-403.

Brown JK, Frohlich DR, Rosell RC, 1995. The sweet-potato or silverleaf whiteflies: biotypes of *Bemisia tabaci* or a species complex. *Annu. Rev. Entomol.*, 40(1): 511-534.

Campbell JW, Cabrera AR, Stanleystahr C, Ellis JD, 2016. An evaluation of the honey bee (Hymenoptera: Apidae) safety profile of a new systemic insecticide, flupyradifurone, under field conditions in Florida. *J. Econ. Entomol.*, 109(5): 1967-1972.

Chen CL, Zhi JR, Ge F, Cui HY, Zhao MY, 2011. Appearance in spring and disappearance in autumn of *Bemisia tabaci* in China. *Acta Ecol. Sin.*, 31(19): 5691-5701. [陈春丽, 郅军锐, 戈峰, 崔洪莹, 赵明宇, 2011. 我国烟粉虱早春发生与秋季消退. 生态学报, 31(19): 5691-5701]

Chen HY, Zhang DY, Huang H, Li ZY, Hu ZD, Feng X, 2010. Insecticidal activities and field efficacy of chlorantraniliprole against diamondback moth (*Plutella xylostella*). *Guangdong Agric. Sci.*, (2): 96-98. [陈焕瑜, 张德雍, 黄华, 李振宇, 胡珍娣, 冯夏, 2010. 氯虫苯甲酰胺对广东小菜蛾杀虫活性和田间药效评价. 广东农业科学, (2): 96-98]

Chen M, Luan BH, Yi XJ, Shi J, Wang PS, 2017. Field efficacy trials of flupyradifurone against *Bemisia tabaci*. *Agrochemicals*, 56(5): 380-383. [陈敏, 栾炳辉, 衣先家, 石洁, 王培松, 2017. 新型杀虫剂氟吡呋喃酮对番茄烟粉虱田间药效评价. 农药, 56(5): 380-383]

Cheng Y, Song XL, Wang HH, Wang SQ, Wang XP, Ren L, 2014. Control efficacy of cyantraniliprole against white fly on watermelon in fields. *J. Changjiang Veget.*, (2): 60-63. [程永, 宋晓磊, 王海红, 王世强, 王祥平, 任璐, 2014. 10% 溴氰虫酰胺悬浮剂对西瓜烟粉虱的田间防治研究. 长江蔬菜, (2): 60-63]

Chu D, Zhang YJ, Brown JK, Cong B, Xu BY, Wu QJ, Zhu GR, 2006. The introduction of the exotic Q biotype of *Bemisia tabaci* (Gennadius) from the Mediterranean region into China on ornamental crops. *FLa. Entomol.*, 89(2): 168-174.

Chu D, Zhang YJ, Wan FH, 2010. Cryptic invasion of the exotic *Bemisia tabaci* biotype Q occurred widespread in Shandong Province of China. *FLa. Entomol.*, 93(2): 203-207.

Cordova D, Benner EA, Sacher MD, Rauh JJ, Sopa JS, Lahm GP, Selby TP, Stevenson TM, Flexner L, Gutteridge S, Rhoades DF, Wu L, Smith RM, Tao Y, 2006. Anthranilic diamides: a new class of insecticides with a novel mode of action, ryanodine receptor activation. *Pestic. Biochem. Physiol.*, 84(3): 196-214.

De Barro PJ, Liu SS, Boykin LM, Dinsdale AB, 2011. *Bemisia tabaci*: a statement of species status. *Annu. Rev. Entomol.*, 56(1): 1-19.

Dinsdale A, Cook L, Riginos C, Buckley YM, Barro PD, 2010. Refined global analysis of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Sternorrhyncha: Aleyrodoidea: Aleyrodidae) mitochondrial cytochrome oxidase 1 to identify species level genetic boundaries. *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 103(2): 196-208.

Jeschke P, Nauen R, Gutbrod O, Beck ME, Matthiesen S, Haas M, Velten R, 2015. Flupyradifurone (Sivanto™) and its novel butenolide pharmacophore: structural considerations. *Pestic. Biochem. Physiol.*, 121: 31-38.

Khasdan V, Levin I, Rosner A, Morin S, Kontsedalov S, Maslenin L, Horowitz AR, 2005. DNA markers for identifying biotypes B and Q of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) and studying population dynamics. *Bull. Entomol. Res.*, 95(6): 605-613.

Li HR, Pan HP, Tao YL, Jiang DF, Zhang YJ, Chu D, 2016. Species identification of indigenous *Bemisia tabaci* in agricultural areas in China. *J. Plant Prot.*, 43(1): 84-90. [李洪冉, 潘慧鹏, 陶云荔, 姜德锋, 张友军, 褚栋, 2016. 中国部分农区作物上本地烟粉虱隐种的鉴定. 植物保护学报, 43(1): 84-90]

Li HR, Pan HP, Tao YL, Zhang YJ, Chu D, 2017. Population genetics of an alien whitefly in China: implications for its dispersal and invasion success. *Sci. Rep.*, 7: 2228.

Luo C, Jones CM, Devine G, Zhang F, Denholm I, Gorman K, 2010. Insecticide resistance in *Bemisia tabaci* biotype Q (Hemiptera: Aleyrodidae) from China. *Crop Prot.*, 29(5): 429-434.

Luo C, Yao Y, Wang RJ, Yan FM, Hu DX, Zhang ZL, 2002. The use of mitochondrial cytochrome oxidase Ⅰ (mtCOⅠ) gene sequences for the identification of biotypes of *Bemisia tabaci* (Gennadius) in China. *Acta Entomol. Sin.*, 45(6): 759-763. [罗晨, 姚远, 王戎疆, 阎凤鸣, 胡敦孝, 张芝利, 2002. 利用 mtDNA COⅠ基因序列鉴定我国烟粉虱的生物型. 昆虫学报, 45(6): 759-763]

Nauen R, Jeschke P, Velten R, Beck ME, Ebbinghaus-Kintscher U, Thielert W, Wölfel K, Haas M, Kunz K, Raupach G, 2015. Flupyradifurone: a brief profile of a new butenolide insecticide. *Pest Manag. Sci.*, 71(6): 850-862.

Navas-Castillo J, Fiallo-Olive E, Sanchez-Campos S, 2011. Emerging virus diseases transmitted by whiteflies. *Annu. Rev. Phytopathol.*, 49: 219-248.

Tian YA, Yang XR, Liang P, Gao XW, 2012. An improved bioassay method for adults of whiteflies. *Chin. J. Appl. Entomol.*, 49(2): 556-561. [田玉安, 杨茜茹, 梁沛, 高希武, 2012. 一种改进的粉虱成虫生物测定方法. 应用昆虫学报, 49(2): 556-561]

Wang HN, Liu F, Wang SL, Shi XB, Wu QJ, Xie W, Mu W, Zhang YJ, 2014. Toxicity of cyantraniliprole to different stages of B and Q sibling species of *Bemisia tabaci*. *Plant Prot*., 40(1): 187 – 191. [王海娜, 刘峰, 王少丽, 史晓斌, 吴青君, 谢文, 慕卫, 张友军, 2014. 溴氰虫酰胺对 B 隐种和 Q 隐种烟粉虱不同虫态的毒力研究. 植物保护, 40(1): 187 – 191]

Wang R, Wang J, Che W, Luo C, 2017. First report of field resistance to cyantraniliprole, a new anthranilic diamide insecticide, on *Bemisia tabaci* MED in China. *J. Integr. Agric*., 16: 60345 – 60347.

Wang ZY, Yan HF, Yang YH, Wu YD, 2010. Biotype and insecticide resistance status of the whitefly *Bemisia tabaci* from China. *Pest Manag. Sci*., 66(12): 1360 – 1366.

Yao FL, Zheng Y, Huang XY, Ding XL, Zhao JW, Desneux N, He YX, Weng QY, 2017. Dynamics of *Bemisia tabaci* biotypes and insecticide resistance in Fujian Province in China during 2005 – 2014. *Sci. Rep*., 7: 40803.

Zhang S, Li YP, Shao ZR, 2010. The pesticide resistance monitoring of pests and advice for pesticide use of China in 2009. *China Plant Prot*., 30(4): 33 – 34. [张帅, 李永平, 邵振润, 2010. 2009 年全国农业有害生物抗药性监测结果及用药建议. 中国植保导刊, 30(4): 33 – 34]

Zhang WJ, Zhang H, Zhang W, Wang CB, Nie G, Zhang YY, 2009 Control effect of chlorantraniliprole 18.5% SC against *Chilo suppressalis* Walker. *Agrochemicals*, 48(3): 230 – 232. [张武军, 张辉, 张伟, 王朝斌, 聂果, 张永阳, 2009. 18.5%氯虫苯甲酰胺悬浮剂防治水稻二化螟药效试验. 农药, 48(3): 230 – 232]

（责任编辑：赵利辉）